

甘文强,李刚,万雪丽.近57 a 5—9月贵州极端强降水变化特征[J].干旱气象,2018,36(4):617-623, [GAN Wenqiang, LI Gang, WAN Xue-li. Variation Characteristics of Extreme Precipitation During May-September in Guizhou Province in Recent 57 Years[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(4):617-623], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-04-0617

## 近57 a 5—9月贵州极端强降水变化特征

甘文强,李刚,万雪丽

(贵州省气象台,贵州 贵阳 550002)

**摘要:**基于贵州1961—2017年82个观测站5—9月逐日降水资料,将处于95%位置的降水量作为极端降水阈值,分析极端降水日数和极端降水量的时空分布特征及其与海拔高度的关系。结果表明:极端降水阈值在南部和东北部地区较高,大于45.0 mm;西部和西北部较低,在35.0 mm左右。多年平均极端降水日数和极端降水量呈西高东低的空间分布特点,极端降水日数在3.6~4.6 d之间,极端降水量多处在200~360 mm之间,极端降水量占5—9月降水总量的30%左右。极端降水站次和极端降水量在各旬分布上呈单峰型,最大值均出现在6月下旬。极端降水日数和极端降水量在中南部表现出不同程度的增加趋势,中部增加趋势最为明显。极端降水量对总降水量的贡献率呈增加趋势。极端降水日数和极端降水量随海拔高度的增加而增大,尤其是极端降水日数受海拔高度的影响明显。

**关键词:**极端降水;5—9月;贵州省;海拔高度

**文章编号:**1006-7639(2018)04-0617-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-04-0617

**中图分类号:**P468.0\*24

**文献标志码:**A

### 引言

随着全球变暖的加剧,极端温度、极端干湿事件以及强降水事件也发生着变化,降水更是呈现出向极端化发展的趋势<sup>[1-13]</sup>。根据IPCC第五次评估报告(AR5)评估结果,在全球范围内有降水观测的区域,虽然降水总量的变化趋势并不一致,但大多数陆地上的强降水事件发生频率呈上升趋势<sup>[14]</sup>。在中国,极端降水事件多发于35°N以南,特别是江南地区以及高原东南部,且这些地区极端降水事件持续时间也较长<sup>[15-16]</sup>。关于极端降水的持续时间及成因方面已有学者开始关注<sup>[17-19]</sup>。WAN等<sup>[19]</sup>从青藏高原热源的角度分析了中国东南部持续的极端降水事件产生的可能原因;陈申鹏等<sup>[20]</sup>、CHEN等<sup>[21]</sup>分析了极端降水产生的环流特征;WEI等<sup>[22]</sup>在总结极端降水成因的基础上,探讨了过程极端降水的可预报性。

贵州省位于我国低纬度云贵高原东部,属于亚

热带湿润季风气候,地理环境复杂,气候多变,旱涝灾害频发,降水年际和年代际变率很大<sup>[23-24]</sup>。已有研究表明贵州降水集中期为5—9月,其中5—8月降水的年际差异明显,具有显著的年际、年代际变化特征<sup>[25]</sup>。降水的变化特征在不同等级上也存在差异,如王芬等<sup>[23]</sup>在分析不同等级降水日数特征及其与降水量关系时指出,贵州总雨日及小雨日呈西多东少的分布,而中雨日、大雨日及暴雨日则呈南多北少分布;1963—2011年总雨日、小雨日、中雨日、大雨日整体上都呈减少趋势,而暴雨日却呈一定的增加趋势。

近年来,关于贵州极端降水时空变化特征已有一些研究成果。王芬等<sup>[26]</sup>对1963—2010年贵州暴雨日数及降水总量变化特征研究表明暴雨及降水主要出现在5—9月,且月际变化幅度较大;伍红雨等<sup>[25]</sup>重点分析了贵州降水时空分布特征及贵州降水与长江、淮河流域降水之间的关系;卢瑞荆等<sup>[27]</sup>对1961—2008年贵州暴雨时空分布特征进行了剖

收稿日期:2018-03-27;改回日期:2018-05-22

基金项目:公益性行业(气象)专项“西南区域夏季短时强降水的中尺度结构特征对比分析及关键预报因子研究”(GYHY201506006)和“贵州省气象台山洪地质灾害防治气象保障工程2018年建设项目”共同资助

作者简介:甘文强(1963—),男,贵州省遵义市人,高级工程师,主要从事天气预报服务及应用气象研究。E-mail:qxjgkz@sina.com。

通信作者:李刚(1983—),男,贵州黔西县人,高级工程师,主要从事中短期预报、数值预报释用研究。E-mail:lg0857@163.com。

析。贵州地形复杂,极端降水发生区域差异明显,不同地形对降水强度的承受能力存在差异<sup>[28]</sup>。以往的研究中有的使用站点相对较少<sup>[29]</sup>,难以反映区域间的差异,有的只对夏季极端降水进行了分析<sup>[24]</sup>。本文利用贵州 1961—2017 年 82 个气象观测站 5—9 月逐日降水观测资料,在利用百分位法确定各站点极端降水阈值的基础上,重点讨论了极端降水日数和极端降水量的空间分布、时间演变及其与地形的关系。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

利用中国气象局气象信息中心气象资料室提供的贵州省自建站以来至 2017 年的逐日降水资料,在考虑了资料长度、缺测情况及站点数量的基础上,选取 1961—2017 年 82 个气象观测站 5—9 月(汛期)的逐日降水资料。图 1 为该区域海拔高度及站点分布[该数据来自美国地质调查局(USGS)地球资源观测卫星 EROS 数据中心的全球数字高程模型 GTOPO30,其空间分辨率为 30 s(大约 1 km),<http://eros.usgs.gov/elevation-products>],不同海拔高度等级的站点分布个数见表 1。

### 1.2 方法

利用百分位法定义各站极端降水事件阈值,具体将 1961—2017 年 5—9 月(汛期)的日降水量大于等于 0.1 mm 的降水按升序排列,将处于 90%、95%、99% 位置的降水量值作为该测站极端降水量

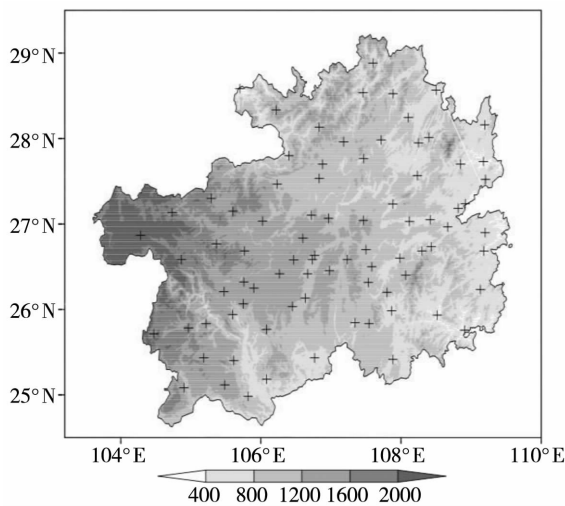


图 1 贵州省海拔高度(阴影,单位:m)和站点位置分布(+号代表站点)

Fig.1 The altitude (the shaded, Unit:m) and meteorology stations distribution in Guizhou Province (plus signs represent stations)

表 1 各海拔高度区间站点数量

Tab.1 The number of meteorology stations at different altitudes

海拔高度/m	站点数
小于 400	8
400 ~ 800	24
800 ~ 1200	27
1200 ~ 1600	18
大于 1600	5

的阈值<sup>[30-31]</sup>。汛期某日降水量大于等于该阈值记为一个极端降水日。

极端降水日平均降雨强度定义为极端降水日的总降水量除以极端降水日数(次数);多年平均极端降水量为极端降水日的总降水量除以年数;旬极端降水量为所有站在该旬多年极端降水量总和除以年数与站数的乘积;区域平均极端降水量为所有各站极端降水日的总降水量除以站数。

## 2 5—9 月极端降水空间分布

### 2.1 极端降水阈值分布

图 2 为贵州省 5—9 月 90%、95%、99% 分位降水阈值分布。可以看出,各百分位降水阈值空间分布相似,90% 分位阈值,南部和东北部边缘阈值偏高,大于 30.0 mm,西部阈值偏低,部分站点阈值不足 24.0 mm;95% 分位阈值,南部和东北部边缘大于 45.0 mm,而西部在 35.0 mm 左右;99% 分位阈值,南部和东北部部分地区大于 80.0 mm。通过对比阈值和贵州省海拔高度(图 1)不难发现,极端降水阈值与海拔高度存在对应关系,海拔较高的地区阈值相对较低,而海拔高度较低的地区阈值相对较高。下文以 95% 分位阈值作为极端降水阈值,分析极端降水日数和极端降水量的时空分布特征及其与海拔高度的关系。

统计达到极端降水阈值的极端降水日的平均降水强度发现,其空间分布(图 3)与极端降水阈值空间分布相似,但其区域差异相对较小,贵州省的西南部及东部边缘的平均降雨强度最大,大多大于 70 mm,而位于贵州西北部的平均极端降水强度相对较小,一般在 50 mm 上下。

### 2.2 极端降水空间变化

统计贵州省 5—9 月多年平均极端降水日数、极端降水量、5—9 月降水总量及极端降水量占 5—9 月

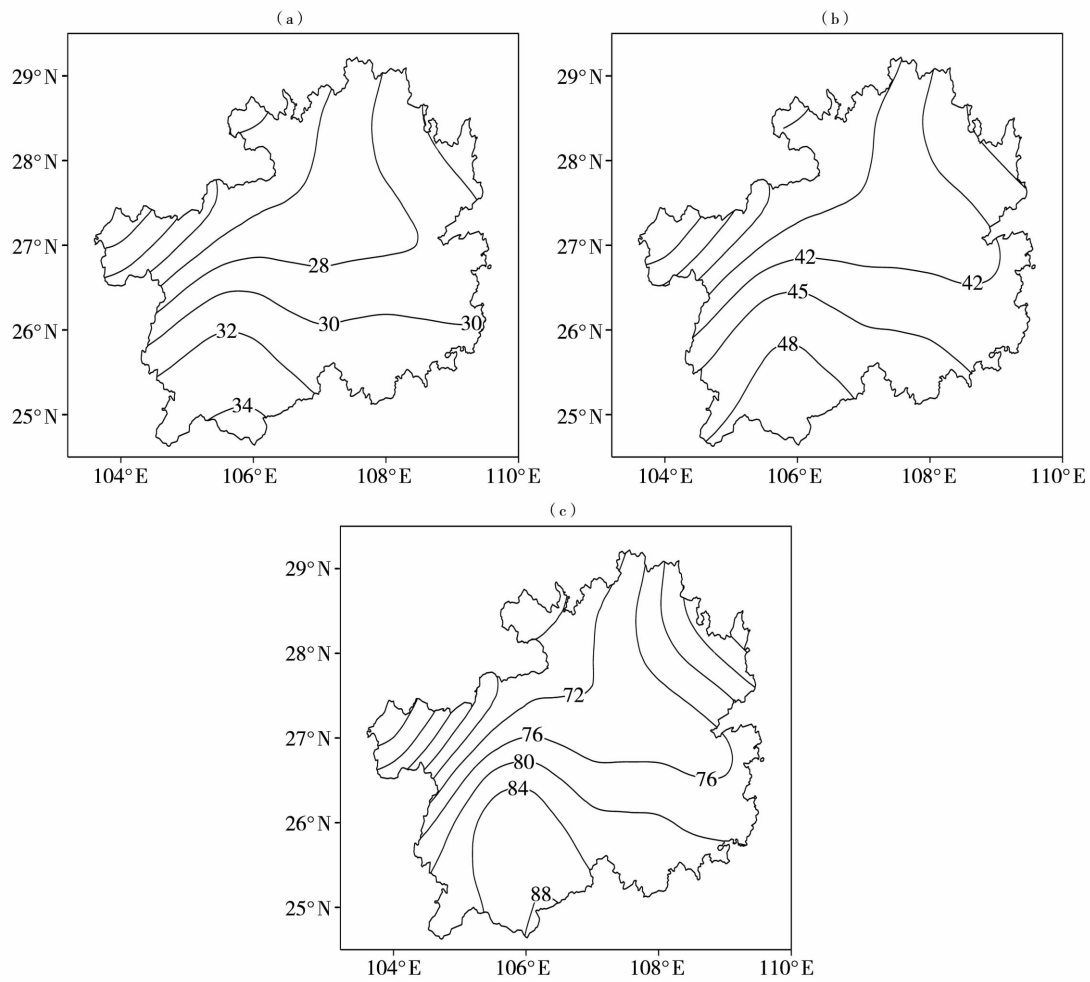


图2 贵州省5—9月90% (a), 95% (b), 99% (c)分位降水阈值分布(单位:mm)

Fig.2 The distribution of the 90th (a), the 95th (b), the 99th (c) percentile precipitation thresholds during May – September in Guizhou Province (Unit:mm)

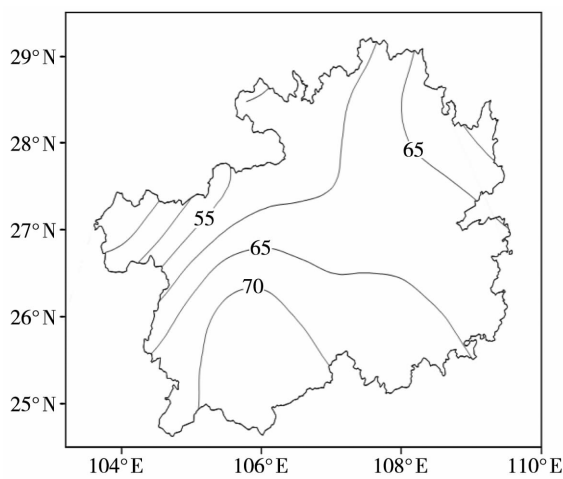


图3 贵州省5—9月极端降水日平均降雨强度分布(单位:mm)

Fig.3 The distribution of average precipitation intensity on extreme rainfall days during May – September in Guizhou Province (Unit:mm)

降水总量百分比(图4)。从5—9月多年平均极端降水日数空间分布可以看出,大部地区5—9月平均极端降水日数为3.6~4.6 d,呈现西高东低的空间分布特点,最大值位于贵州西部边缘,为4.84 d,最小值为位于贵州东北部的铜仁市和沿河县一带,只有3.46 d。贵州省5—9月多年平均极端降水量主要表现为西南多东北少的空间分布特点,此外在贵州西北部高海拔山区也相对较少。平均极端降水量大于310.0 mm的区域主要位于贵州西南部的南盘江和北盘江附近,其中六枝最高,为365.2 mm,而位于北部的赫章及施秉年平均极端降水量在200.0 mm以下,为全区最少。5—9月降水总量与极端降水量分布相似,表现为西南部降水偏多,在1000 mm以上,而北部基本在750 mm以下。极端降水量占5—9月降水总量百分比,全省范围内基本在30.0%左右,区域差异较小,中部比例相对较高,略高于31.5%,贵州省四周边缘地区相对较小,接近30.0%。

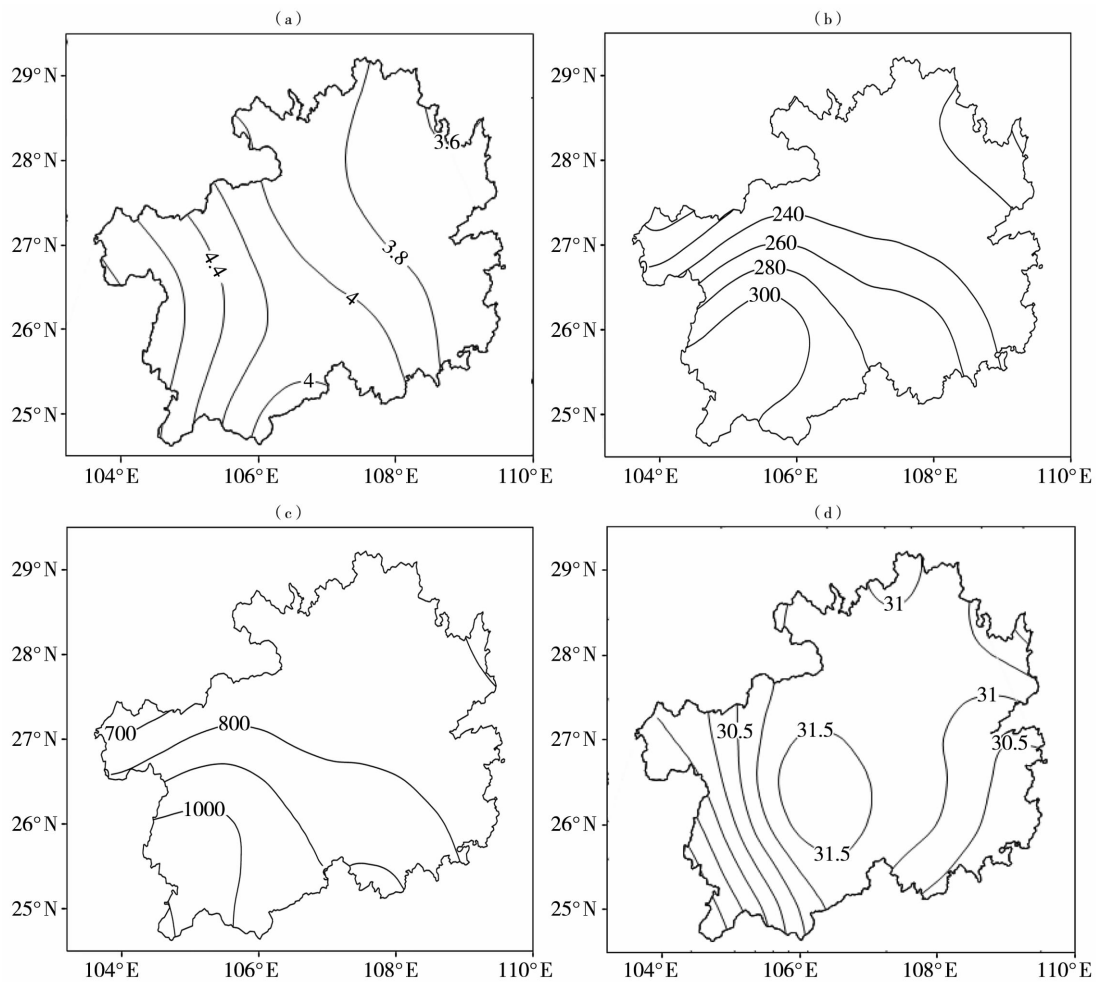


图4 贵州省5—9月气候平均极端降水日数(a,单位:d)、极端降水量(b,单位:mm)、5—9月降水总量(c,单位:mm)及极端降水量占5—9月降水总量百分比(d,单位:%)

Fig. 4 The distribution of average extreme rainfall days (a, Unit:d) and extreme precipitation (b, Unit:mm), total precipitation (c, Unit:mm) and percentage of extreme precipitation in total precipitation during May – September (d, Unit:%) in Guizhou Province

### 3 极端降水时间演变

#### 3.1 极端降水的各旬分布及年际变化

贵州省降水主要集中在5—9月,5—9月也是暴雨多发时段<sup>[29]</sup>,图5(a)为5—9月极端降水在各旬平均每年发生站次。极端降水站次在各旬差异明显,整体呈现为单峰分布,最大值出现在6月下旬,平均每年有30.23站次出现极端降水,最小值出现在9月下旬,平均每年仅出现5.95站次。可见,极端降水在各旬出现站次差异明显。图5(b)为贵州5—9月旬极端降水量分布情况,贵州省极端降水量在各旬的分布与极端降水发生的站次分布较为相似,最高值也出现在6月下旬,为33.32 mm。卢瑞荆等<sup>[27]</sup>在分析贵州省暴雨时空变化时也曾指出,6月是暴雨最集中的时段。可见,从旬的尺度上来讲,

6月下旬是极端降水最为集中的时段。

近57 a贵州省区域平均极端降水日数表现出明显的年际变化[图6(a)],多年平均极端降水日数3.99 d,最小值出现在1961年为2.06 d,最大值出现在2014年为6.20 d,线性倾向率为 $0.01 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,通过了 $\alpha=0.1$ 显著性检验。王芬等<sup>[23]</sup>在分析贵州不同等级降水日数气候特征及其与降水量的关系时发现,虽然总雨日、小雨日、中雨日、大雨日整体上都呈减少趋势,暴雨日却呈一定的增加趋势。贵州省区域平均极端降水量的年际变化与极端降水日数年际变化相似[图6(b)],多年平均极端降水量为258.50 mm,1961年最少(120.3 mm),2014年最多(439.0 mm),线性倾向率为 $0.97 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,未通过 $\alpha=0.1$ 显著性检验。

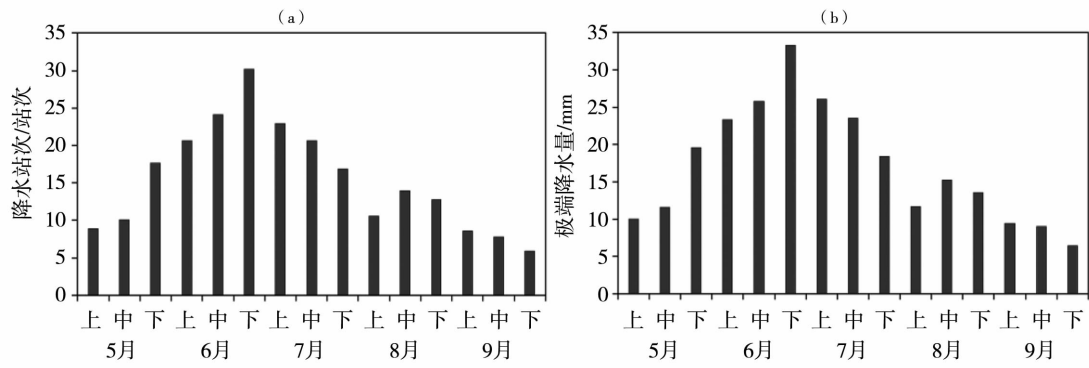


图5 贵州省5—9月各旬极端降水站次(a)和极端降水量(b)

Fig. 5 The average stations occurring extreme precipitation (a) and mean extreme precipitation (b) for each ten-day period during May – September in Guizhou Province

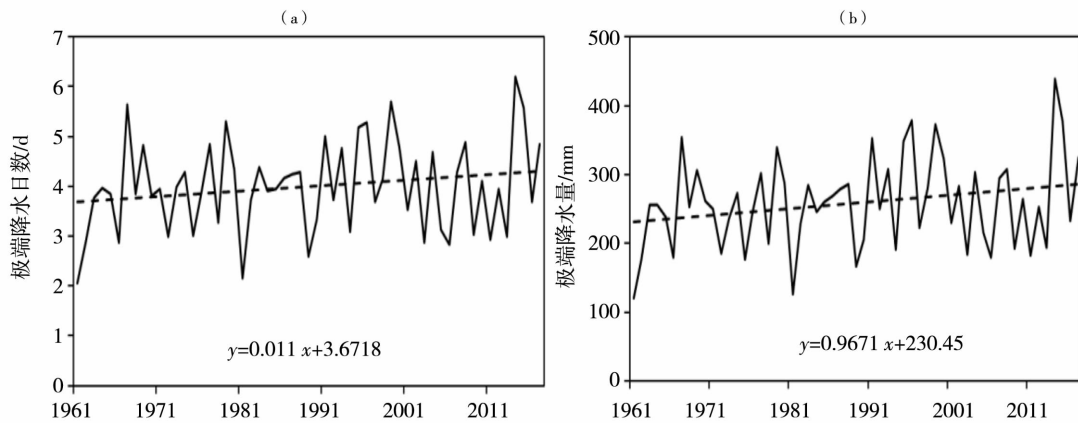


图6 1961—2017年5—9月贵州省区域平均极端降水日数(a)和极端降水量(b)年际变化

Fig. 6 The interannual variability of regional average extreme rainfall days (a) and precipitation (b) during May – September from 1961 to 2017 in Guizhou Province

### 3.2 极端降水变化趋势特征

通过各站极端降水日数和极端降水量变化趋势的空间分布可以看出,各站极端降水日数变化趋势[图7(a)]表现出明显的区域差异,在贵州中部和南部表现不同程度的增加趋势,其中以中部一带增加趋势最为明显,有6个站点增加趋势通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。北部、西部边缘及南部边缘表现为减少趋势,其中南部边缘的荔波站减少趋势显著(通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验)。5—9月极端降水量变化趋势空间分布[图7(b)]与极端降水日数相似,但显著增加的站点更多,达到9个。进一步分析极端降水量占总降水量百分比[图7(c)]变化趋势发现,贵州省大部分站点极端降水量占总降水量比例在增加,尤其是中部,增加趋势明显,有17个站点增加趋势通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

### 4 极端降水与海拔高度的关系

无论是极端降水日数还是极端降水量的空间分布在很大程度上受地形的影响,同时以往相关研究<sup>[32]</sup>也证明了这一点。从表1中可以看出贵州省各站点降水主要集中在400~1600 m,且分布相对均匀。从极端降水日数与海拔高度散点分布[图8(a)]上发现,极端降水日数整体随着海拔高度的增加而增加,两者相关系数为0.84(通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验)。极端降水量与海拔高度之间也呈正相关关系[图8(b)],但由于极端降水阈值随海拔高度的增加而减少,导致极端降水量与海拔高度的相关关系不如极端降水日数显著,相关系数仅为0.32(通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验)。通过极端降水日数和极端降水量与地形的关系可以看出,其变化与海拔高度存在一定的关系,尤其是极端降水日数受海拔高度的影响明显。

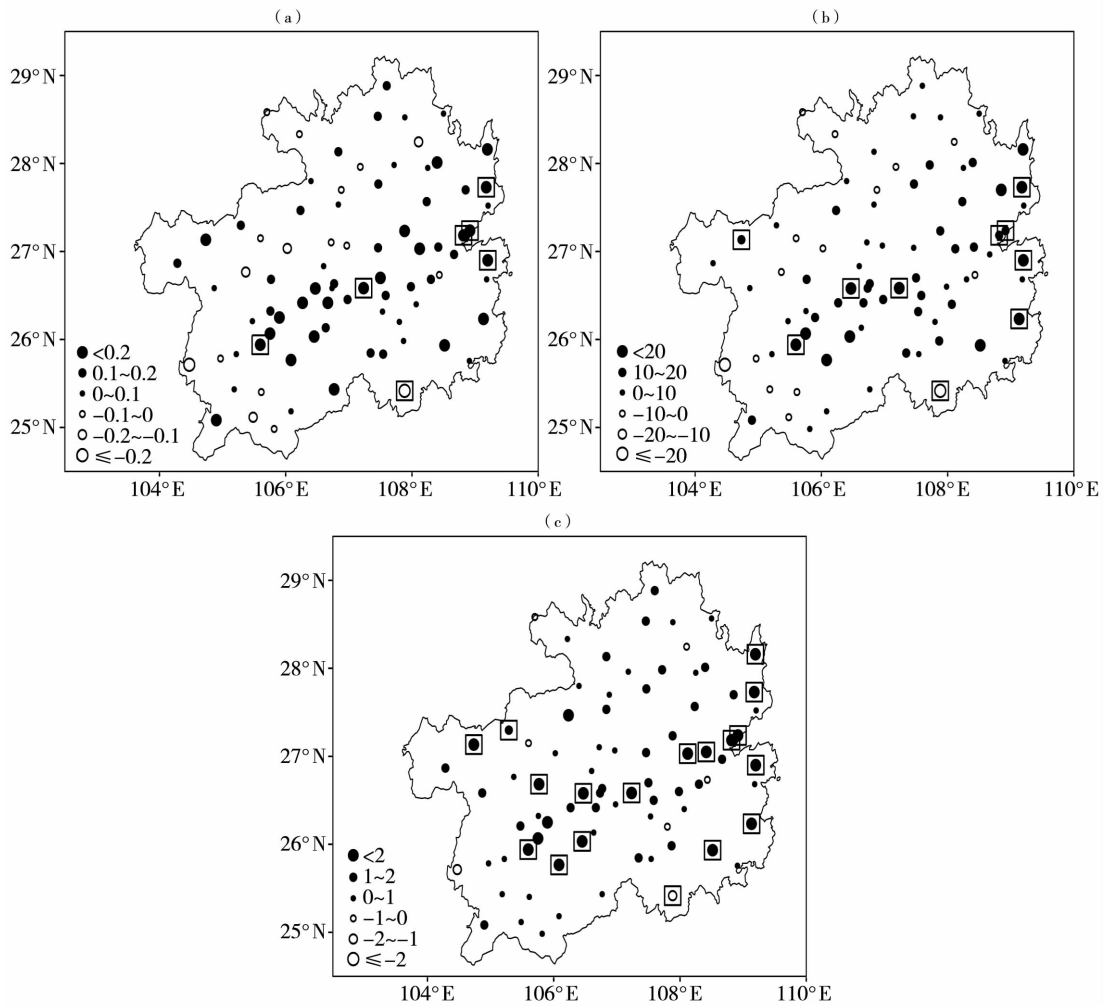


图7 1961—2017年贵州省5—9月极端降水日数[a,单位: $d \cdot (10 a)^{-1}$ ]、极端降水量[b,单位: $mm \cdot (10 a)^{-1}$ ]和极端降水量占总降水量百分比[c,单位: $\% \cdot (10 a)^{-1}$ ](□为通过0.05显著性检验的站点)

Fig.7 The trends distribution of extreme rainfall days (a, Unit: $d \cdot (10 a)^{-1}$ ), extreme precipitation (b, Unit: $mm \cdot (10 a)^{-1}$ ) and percentage of extreme precipitation (c, Unit: $\% \cdot (10 a)^{-1}$ ) during May – September from 1961 to 2017 in Guizhou Province (□ stands for the stations passing the 0.05 significance test)

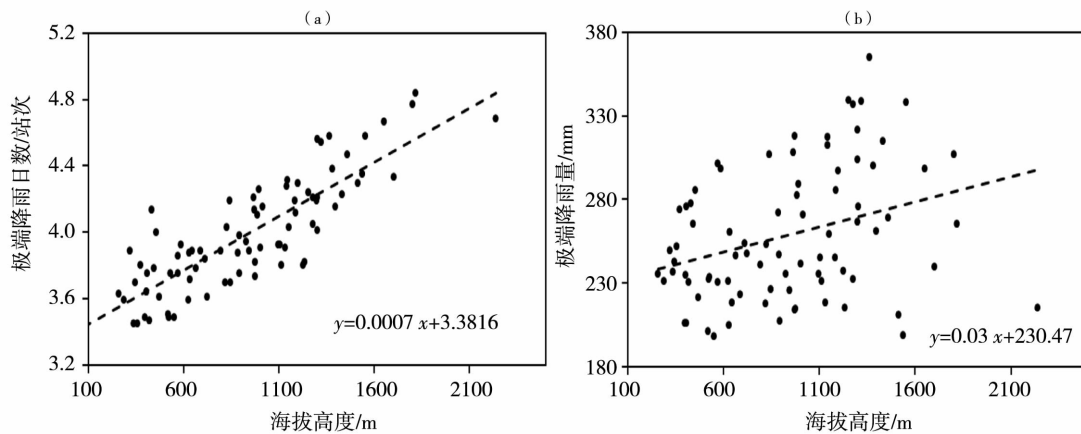


图8 贵州省5—9月极端降水日数(a)和极端降水量(b)与海拔高度散点分布

Fig.8 The scatter plots between annual mean extreme rainfall days (a), extreme precipitation (b) and altitude in Guizhou Province

## 5 结 论

(1)贵州省极端降水阈值南部和东北部地区较高,西部和西北部较低。南部和东北部边缘地区阈值在45 mm以上,而西部在35 mm左右。

(2)贵州大部地区5—9月多年平均极端降水日数和极端降水量整体呈现西高东低的空间分布特点,极端降水日数在3.6~4.6 d之间,极端降水量多在200.0~360.0 mm之间,极端降水量占5—9月降水总量的30.0%左右。

(3)平均极端降水站次和极端降水量在各旬分布上呈单峰型分布,最大值均出现在6月下旬。极端降水日数和极端降水量在贵州省中部和南部表现出不同程度的增加趋势,中部增加趋势最为明显。

(4)极端降水日数和极端降水量随海拔高度的增加而增大,尤其是极端降水日数受海拔高度的影响明显。

### 参考文献:

[1] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007: the physical science basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:301-303.

[2] 马柱国,符淙斌,任小波,等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. 地理学报,2003,58(增刊):11-20.

[3] 马柱国,华丽娟,任小波. 中国近代北方极端干湿事件的演变规律[J]. 地理学报,2003,58(增刊):69-74.

[4] 胡豪然,毛晓亮,梁玲. 近50年川渝地区夏季极端高温事件的时空演变特征[J]. 高原山地气象研究,2008,28(3):15-20.

[5] 陈怀亮,张红卫,薛昌颖. 中国极端天气事件与农业气象服务[J]. 气象与环境科学,2010,33(3):67-77.

[6] 李海花,李焕,葛洪燕,等. 阿勒泰地区冬季极端最低气温变化分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2012,6(6):41-44.

[7] 陈勇,陈阳,范昱. 1951—2010年长沙市极端气温事件的变化特征[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):41-44.

[8] 王丽. 河南省1961—2011年极端气温和极端气温事件的时空变化特征[J]. 气象与环境科学,2013,36(2):31-36.

[9] 翟薇,李肖霞. BCC\_CSM1.1全球模式中极端气温变化的归因分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):25-32.

[10] 秦秀丽,李丽平,魏丽云. 1961—2010年山西极端气温年均发生频率的时空特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(2):59-64.

[11] 王书冰,周顺武,马悦,等. 近54年辛集市气温及降水变化特征[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):40-47.

[12] 黄俊利,魏文寿,杨青,等. 塔克拉玛干沙漠南缘极端降水变化趋势与突变特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2012,6(2):30-34.

[13] 刘琳,陈静. 新疆1961—2011年极端降水事件年内非均匀性特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2013,7(1):53-59.

[14] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. New York: New York Cambridge University Press, 2014.

[15] 王志福,钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展,2009,20(1):1-9.

[16] FU G B, YU J J, YU X B, et al. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961-2009 [J]. Journal of Hydrology, 2013,487:48-59.

[17] 周慧,蔡荣辉,尹冬德,等. 2016年7月湖南一次极端持续性暴雨成因分析[J]. 干旱气象,2018,36(1):56-63.

[18] 环海军,刘岩,孟伟,等. 鲁中地区不同持续时间年最大降水特征[J]. 干旱气象,2017,35(5):518-821.

[19] WAN B C, GAO Z Q, CHEN F, et al. Impact of Tibetan Plateau surface heating on persistent extreme precipitation events in south-eastern China [J]. Mon. Wea. Rev., 2017, 145(9):3485-3505.

[20] 陈申鹏,孙国武. 华南前汛期首场强降水个例分析[J]. 干旱气象,2018,36(1):50-55.

[21] CHEN Y, ZHAI P M. Precursor circulation features for persistent extreme precipitation in Central-Eastern China [J]. Wea Forecasting, 2014,29(2):226-240.

[22] WEI W G, YAN Z W, JONES P D. Potential predictability of seasonal extreme precipitation accumulation in China [J]. J Hydrometeorol, 2017,18(4):1071-1080.

[23] 王芬,曹杰,李腹广,等. 贵州不同等级降水日数气候特征及其与降水量的关系[J]. 高原气象,2015,34(1):145-154.

[24] 王芬,张娇艳,谷晓平,等. 西太平洋副热带高压不同特征指数与贵州夏季降水的关系[J]. 暴雨灾害,2017,36(4):348-356.

[25] 伍红雨,王谦谦. 近49年贵州降水异常的气候特征分析[J]. 高原气象,2003,22(1):65-71.

[26] 王芬,杨若文,唐浩鹏,等. 近48年贵州暴雨日数及降水总量的变化特征研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2013,35(增刊1):236-243.

[27] 卢瑞荆,樊兰峰. 1961—2008年贵州暴雨时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(3):17-21.

[28] LI Z, ZHENG F L, LIU W Z, et al. Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the loess plateau of China during 1961-2007 [J]. Quaternary International, 2010,226(1/2):92-100.

[29] 陈学凯,徐建新,胡娟萍,等. 1961—2012年贵州省极端降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(4):50-61.

[30] 杨玮,程智. 近53年江淮流域梅汛期极端降水变化特征[J]. 气象,2015,41(9):1126-1133.

[31] 王雯燕,王丽,李国平,等. 陕西省汛期极端降水时空演变特征[J]. 干旱气象,2016,34(6):952-957.

[32] 魏军,李婷,胡会芳,等. 基于RCLIMDEX模型的石家庄市极端降水时空变化特征[J]. 干旱气象,2016,34(4):623-630.